



Stefan Hesse, Viktorio Malisa

Taschenbuch Robotik - Montage - Handhabung

ISBN (Buch): 978-3-446-44365-5

ISBN (E-Book): 978-3-446-44549-9

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44365-5>

sowie im Buchhandel.

Inhalt

Vorwort	5
1 Maschinennaher Materialfluss im Industriebetrieb	13
1.1 Geschichtlicher Rückblick	13
1.2 Zeitleiste Industrieroboter (Auswahl)	18
1.3 Literatur- und Quellenverzeichnis	21
2 Robotik – Technik für den Menschen	23
2.1 Systematische Einordnung	24
2.2 Industrieroboter	27
2.2.1 Einführung und allgemeine Grundlagen	27
2.2.2 Begriffe und Definitionen	34
2.2.3 Leistungsmerkmale	42
2.2.4 Kinematische Grundbauarten und Arbeitsräume	49
2.3 Aktorik bei Industrierobotern	63
2.3.1 Pneumatische Aktoren	64
2.3.2 Hydraulische Aktoren	69
2.3.3 Elektrische Aktoren	70
2.3.4 Getriebe	89
2.4 Sensorik	97
2.4.1 Bedeutung von Sensoren	97
2.4.2 Positionssensoren	98
2.4.3 Kraftmessung	109
2.4.4 Trägheitssensorik	114
2.5 Endeffektoren	119
2.5.1 Aufgabe und Definition	119
2.5.2 Greifprinzip	125
2.5.3 Kraftübertragung bei mechanischen Greifern	129
2.5.4 Synchronisation der Greiferfinger	131
2.5.5 Greifbackenführung	133

2.5.6	Greifertypen	134
2.5.7	Greifgerechte Werkstückgestaltung	137
2.5.8	Greifkraft	138
2.5.9	Vakuumgreifer	142
2.5.10	Flexible Greiftechnik	152
2.5.11	Wechseleinrichtungen	156
2.5.12	Roboterwerkzeuge	158
2.6	Sicherheitstechnische Anforderungen	162
2.6.1	Allgemeine Grundlagen	162
2.6.2	Sicherheitsforderungen	163
2.6.3	Gesetzliche Regelungen	168
2.6.4	EN ISO 13849-1 Sicherheit von Maschinen	170
2.6.5	Sicherheitsausführungen	174
2.7	Steuerung von Industrierobotern	174
2.7.1	Bewegungssystem und Architektur	175
2.7.2	Bewegungsarten	181
2.7.3	Koordinatensysteme und Bezugspunkte	183
2.7.4	Analyse und Steuerung von Roboterbewegungen	189
2.7.5	Interpolation	210
2.7.6	Sensorführung	217
2.7.7	Betriebsarten	219
2.7.8	Einfluss von Temperaturschwankungen	221
2.8	Regelung von Roboterachsen	223
2.8.1	Positionsregelung	224
2.8.2	Digitale Regler	226
2.8.3	Lastadaptive Regelung	227
2.8.4	Regelung bei mobilen Robotern	229
2.8.5	Spezielle Regelungsansätze in der Robotik	230
2.8.6	Künstliche Intelligenz und Robotik	246
2.9	Programmierung von Industrierobotern	249
2.9.1	Programmiermethoden	250
2.9.2	Programmiersprachen	251
2.9.3	Fehlerbehebung	261
2.9.4	Programmierbeispiele	264
2.10	Simulation von Robotersystemen	269
2.10.1	Einbettung in die Digitale Fabrik	269
2.10.2	Simulationstechnik und -werkzeuge	271
2.10.3	Ablauf von Simulationsstudien	276
2.10.4	Methoden der Variantenbewertung	277

2.10.5	Entwerfen von Roboterzellen	278
2.10.6	Modellierung von Zellenkomponenten	281
2.10.7	Simulationsbeispiele und ihre Bewertung	283
2.11	Anwendungsbeispiele	290
2.11.1	Roboter als Bearbeitungsmaschine	290
2.11.2	Industrieroboterperipherie	293
2.11.3	Ausgewählte Roboteranlagen	299
2.12	Literatur- und Quellenverzeichnis	304
3	Mensch-Roboter-Kooperation	309
3.1	Manuell geführte Manipulatoren	309
3.1.1	Aufgaben und Lastenhandhabungsverordnung	309
3.1.2	Funktionen und Baugruppen	310
3.1.3	Antriebe	318
3.1.4	Gelenkbremmung	322
3.1.5	Standsicherheit von Säulengeräten	323
3.1.6	Greifer und Lastaufnahmemittel	325
3.2	Teleoperatoren	326
3.2.1	Definition und Arten	326
3.2.2	Möglichkeiten und Probleme der Fernhandhabung	328
3.2.3	Master-Slave-Manipulatoren	332
3.3	Assistenzroboter	335
3.3.1	Definition und Prinzip des Assistenzroboters	335
3.3.2	Anlagenkonzepte	336
3.3.3	Führung des Roboterarmes	337
3.4	Serviceroboter	343
3.4.1	Grundlagen	344
3.4.2	Aktuelle Einsatzfelder	346
3.4.3	Schlüsseltechnologien	354
3.5	Fahrerlose Flurförderzeuge	367
3.5.1	Fahrerlose Transportsysteme	367
3.5.2	Spurführungssysteme	368
3.5.3	Sicherheit	373
3.6	Autonome Mobile Roboter	376
3.6.1	Einteilung	379
3.6.2	Prinzipieller Aufbau	382
3.6.3	Kinematik	398
3.6.4	Odometrie	399

3.6.5	Lokalisation	399
3.6.6	Navigation	402
3.6.7	Entwicklungsbeispiel	404
3.7	Humanoide Roboter	406
3.7.1	Zeitleiste menschenähnliche Roboter (Auswahl)	406
3.7.2	Definition und Grundkonzepte	409
3.7.3	Null-Moment-Punkt	412
3.7.4	Gestik und Mimik	418
3.7.5	ICub	419
3.7.6	Ausblick	420
3.8	Mikrorobotik	421
3.8.1	Einführung	421
3.8.2	Grundaufbau	422
3.9	Literatur- und Quellenverzeichnis	437
4	Handhabungstechnik	441
4.1	Analytische Betrachtung der Werkstückhandhabung	441
4.1.1	Handhabungsfunktionen	441
4.1.2	Handhabungsobjekte	446
4.2	Handhabungsgerechte Werkstückgestaltung	449
4.3	Achskomponenten und Handlingmodule	452
4.3.1	Lineareinheiten und Führungen	453
4.3.2	Portaleinheiten	465
4.3.3	Dreheinheiten	467
4.3.4	Auslegung von Positionierachsen	473
4.4	Einrichtungen zum Ordnen	478
4.4.1	Ordnen von Massenteilen	478
4.4.2	Konstruktive Lösungen	481
4.4.3	Vibrationszuführtechnik	487
4.5	Einrichtungen für das Zuteilen	498
4.5.1	Zuteilen als Funktion	498
4.5.2	Konstruktive Lösungen	499
4.6	Einrichtungen zum Magazinieren	504
4.6.1	Magazinieren als Funktion	504
4.6.2	Bauformen von Magazinen	507
4.7	Objekthandhabung mit Strömungsmechanik	512

4.8	Zuführung von Schüttgut und Fluiden	517
4.8.1	Dosieren	517
4.8.2	Probleme beim Zuführen aus Bunkern	518
4.9	Einsatz bildverarbeitender Systeme	520
4.9.1	Grundkonzept	521
4.9.2	Bildverarbeitung	522
4.9.3	Anwendungsbeispiele	525
4.10	Literatur- und Quellenverzeichnis	528
5	Montageautomatisierung	529
5.1	Montagevorgang und Bewegungsanforderungen	530
5.2	Methoden zur montagegerechten Konstruktion	534
5.3	Montagegerechtes Konstruieren	536
5.3.1	Produktbauweisen	537
5.3.2	Ausgewählte Gestaltungsregeln	541
5.4	Automatische Montagemaschinen	545
5.4.1	Montagelinie	547
5.4.2	Rundtaktautomaten	554
5.4.3	Montagezellen	558
5.4.4	Hybride Montagesysteme	561
5.4.5	Flexible Montageautomatisierung	563
5.5	Werkstückträger	564
5.6	Transfersysteme	568
5.7	Kontinuierliche Montage	578
5.8	Mikromontage	581
5.8.1	Montage von Mikrosystemen	581
5.8.2	Modellgesetze und Adhäsionseffekte	582
5.8.3	Werkzeuge zur Mikrohandhabung	585
5.8.4	Mikrohandhabungsprozesse und -strategien	590
5.9	Demontage	596
5.9.1	Demontagegerechte Gestaltung	597
5.9.2	Automatisierung der Demontage	602
5.10	Literatur- und Quellenverzeichnis	604
	Sachwortverzeichnis	607

Vorwort

Die Handhabung materieller Objekte ist für Arbeitsprozesse in der Montage, der Teilefertigung, im Lagerwesen oder beispielsweise beim Sortieren und Verpacken ein typischer Vorgang. Vieles davon wird heute bereits vom Industrieroboter automatisch erledigt. In Massenprozessen ist aber auch konventionelle Handhabungstechnik in unterschiedlichen Technisierungsvarianten unverändert oder weiterentwickelt im Einsatz. Inzwischen hat der technische Fortschritt auch mobile und autonome mobile Roboter hervorgebracht, die am Wirkungsort positionsflexibel sein können. Handgeführte Manipulatoren haben in der Lücke zwischen Roboter und Handarbeit ihren festen Platz. Durch kollaborierende Roboter entstehen Arbeitszellen, in welchen Intelligenz und Flexibilität des Menschen mit der Genauigkeit und Stärke eines Roboters in einem gemeinsamen Arbeitsraum ohne Schutzzaun wirken. Humanoide und Serviceroboter verlassen das Feld von Science-Fiction und wachsen in kleinen Schritten zu vielfältigen Helfern des Menschen. In der Montage steigt schließlich schnelles Manipulieren von Bauteilen zur „Hohen Schule“ der Handhabungstechnik auf, weil stets mehrere Teile zeitlich und räumlich punktgenau bewegt werden müssen. Das alles ist der fachliche Spannungsbogen dieses Taschenbuches.

Die wichtigsten Komponenten, Verfahren und Methoden werden im Buch erläutert und bildhaft vorgestellt. Der Umfang gebot, sich auf die wesentlichen Kernaussagen zu beschränken. Die Autoren waren bemüht, ein verständliches Nachschlagewerk zu schaffen. Es soll Studierenden technischer Fächer wie auch dem Praktiker im Beruf den Einstieg in die Thematik möglichst leicht machen.

Das Buch beruht auch in dieser 2. Auflage auf Teamarbeit. Deshalb sei allen Mitwirkenden gedankt, insbesondere den Mitgliedern vom Förderverein **F-AR** Wien, Frau Ute Eckardt und Frau Katrin Wulst vom Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag für die sachkundige Unterstützung und Betreuung. Inhaltlich hat eine Präzisierung und punktuelle Erweiterung stattgefunden.

Wien, im November 2015

Stefan Hesse
Viktorio Malisa

3

Mensch-Roboter-Kooperation

■ 3.1 Manuell geführte Manipulatoren

Handhabungseinrichtungen zur Mechanisierung von Hebe- und Umsetzungsvorgängen, die man auch als Balancer, Lastarmmanipulator oder Ausgleichsheber bezeichnet, setzt man seit etwa 50 Jahren vermehrt in Industrie, Handwerk und Bauwesen ein und entwickelt sie auch ständig weiter. Sie schließen die Technisierungslücke zwischen Roboter und Handarbeit.

Balancer(*manual manipulator*): Direkt handgesteuerter bzw. bewegter Manipulatorarm, bei dem eine anhängende Last im Moment der Lastaufnahme automatisch oder nach manueller Voreinstellung gegen die Schwerkraft in einen Schwebezustand versetzt wird. Der Balancer ist in seiner Bewegung nicht vorprogrammierbar.

3.1.1 Aufgaben und Lastenhandhabungsverordnung

Industriegesellschaften unterliegen heute einem schnellen Wechsel in der Arbeitswelt. Viele körperlich schwere Arbeiten wurden inzwischen auf die Maschine (den Roboter) übertragen. Kleine Stückzahlen und komplizierte Bewegungsabläufe haben zur Entwicklung und zum Einsatz handgeführter Manipulatoren geführt. Ein wesentlicher Ansatzpunkt sind auch ergonomisch optimale Arbeitsbedingungen. Körperliche Überlastungen führen z. B. zu **Wirbelsäulenschäden** und manuelle Handhabung ist oft auch die Ursache für viele Verletzungen an Fingern und Extremitäten. Aus nicht bewältigten Anforderungen ergeben sich die in Tabelle 3.1 aufgezeigten Zusammenhänge [3.1].

Tabelle 3.1 Verschiedene Einflüsse haben negative Folgen auf den Werker.

Ursachen, Einflüsse		Wirkungen		Folgen
physische Belastung		Beschwerden		Fehlzeiten
- Handhaben von Lasten		Beeinträchtigungen		Fluktuation
- Vibrationen		Schädigungen		Leistungs- mangel
- Körperhaltung und -bewegung				Qualität
- muskuläre Aktivierung				Sicherheit
psychosoziale Belastung				

Die zumutbare Last für manuelles Heben und Tragen ist für Männer und Frauen unterschiedlich und sie hängt auch von der Häufigkeit des Handhabens je Zeiteinheit ab. Deshalb wurde 1996 die „Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei manueller Handhabung von Lasten bei der Arbeit“ erlassen [3.2; 3.3]. Danach muss der Arbeitgeber dafür Sorge tragen, dass die Mitarbeiter möglichst keine schweren Lasten von Hand bewegen müssen, sondern technische Hilfen wie z.B. den Manipulator einsetzen. Ein ergonomisch gestalteter Arbeitsplatz ist somit in den Ländern der EU einklagbar.

3.1.2 Funktionen und Baugruppen

Es gibt viele Ausführungen, die mehr oder weniger bestimmten Anwendungen angepasst sind. Die Verwendung betrifft das Heben, Umsetzen von Lasten, Verpacken und Montieren bei gleichzeitiger Senkung des Krankenstandes und von Verletzungen im Bereich der Extremitäten. Die Hauptbestandteile eines Manipulators sind Kinematik (Arm, Gelenke, Führungen), Endeffektor (Lastaufnahmemittel, Greifer), Gleichgewichtssteuerung, Hand- und Fahrachsenantriebe sowie Sensoren (Wägezellen). Eine übliche Bauform ist der Standsäulenmanipulator (Bild 3.1).

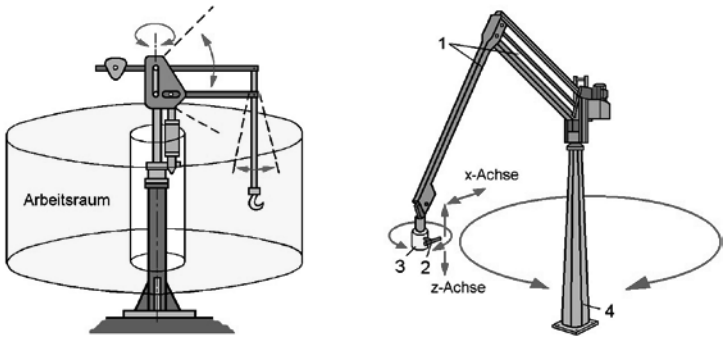


Bild 3.1 Stufenlose Bewegungsmöglichkeiten beim manuell geführten Standsäulenmanipulator. 1 Armgestänge, 2 Bediengriff, 3 Anschluss für Endeffektor, 4 Standsäule mit vertikaler Drehgelenkachse

Weitere Bauformen sind maschinenintegrierte Balancer (selten), die z. B. an Werkzeugmaschinen für das Handhaben schwerer Maschinenwerkzeuge und Werkstücke eingesetzt werden können. Wegen des sich ergebenden großen Arbeitsraumes sind Fahrständermanipulatoren oder Manipulatoren, die an einem x - y -Deckenlaufwerk fahren, besonders vorteilhaft einsetzbar. Das Bild 3.2 zeigt ausschnittsweise ein solches Handhabungsgerät.

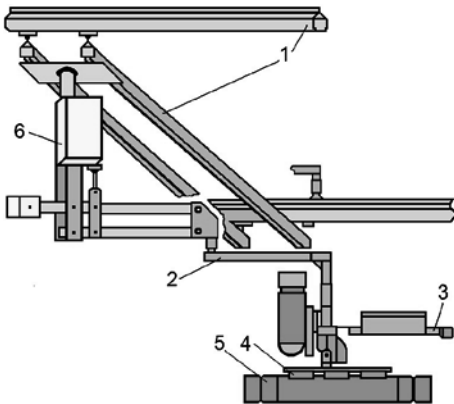


Bild 3.2
 Deckenverfahrbarer Manipulator.
 1 Leichtlaufschiene,
 2 Auslegergelenkarm,
 3 Führungs- und Steuergriff,
 4 Saugergreifer,
 5 Greifobjekt,
 6 Gewichtskraftausgleich

Für diese Ausführung soll an einem Beispiel die Auswahl der Deckenlaufschienen gezeigt werden. Der Hubarm soll an einer **Zweitträgerbrücke** befestigt und flächenverfahrbar sein. Das Bild 3.3 zeigt den Systemaufbau.

Ausgangsdaten für das Beispiel

Hubmasse (Last)	$F_1 = 250 \text{ kg}$
Eigenmasse des Hubarmes	$F_2 = 42 \text{ kg}$
Eigenmasse Fahrwerkträger mit Fahrwerk	$F_3 = 38 \text{ kg}$

Damit wird die Belastung F des Systems auf einer Schienenseite nach (3.1):

$$F = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{2} = \frac{250 + 42 + 38}{2} = 165 \text{ kg} \tag{3.1}$$

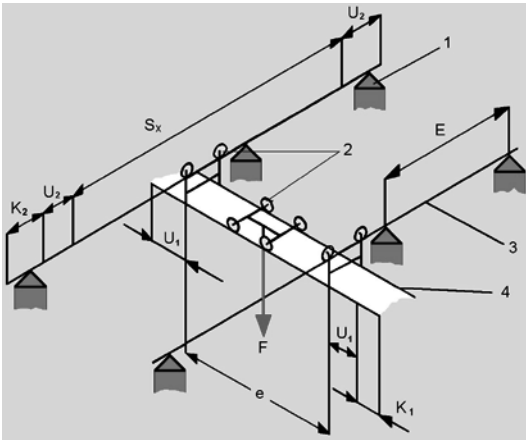


Bild 3.3 Portalfahrwerk mit Zweitträgerbrücke. 1 Stütze, Auflager, 2 Fahrwerk, 3 Längsweg-Schiene, 4 Zweitträgerbrücke, Lastangriff mittig

Weitere Vorgaben betreffen den Arbeitsraum

Querfahrweg	$S_y = 3000 \text{ mm}$
Überstand an der Querschiene	$U_1 = 210 \text{ mm}$
Zusatzlänge für Kabelwagen (Schleppkabel)	$K_1 = 170 \text{ mm}$
Spurmittenabstand ($e = S_y + 550$)	$e = 3550 \text{ mm}$

Damit wird die benötigte Querschienenlänge L_1 :

$$L_1 = e + 2 \cdot U_1 + K_1 = 3550 + 2 \cdot 210 + 170 = 4140 \text{ mm} \quad (3.2)$$

Welches **Querschienenprofil** muss man nun auswählen? Die verfügbaren Profile werden in Bild 3.4 vorgestellt. Es gibt Aluminium- und Stahlprofilsschienen mit unterschiedlichen Abmessungen.

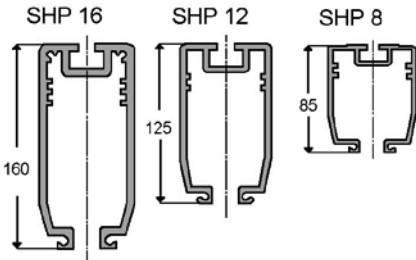


Bild 3.4
Laufschienenprofile aus strang-
gepresstem Aluminium

Die Auswahl geschieht nach der zulässigen Durchbiegung der Schiene unter Volllast. Wird sie überschritten, dann ist kein **Leichtlauf** der Laufwagenrollen mehr gewährleistet. Bei einem Abstand der Aufhängepunkte von 3550 mm ergibt sich bei einer Belastung von 165 kg gemäß Diagramm Bild 3.5 (Angaben des Schienenherstellers) das Profil SHP 12.

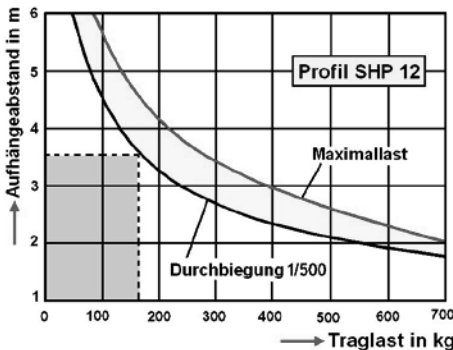


Bild 3.5
Fahrschienenbelastbarkeit
des Profils SHP 12 (Alumi-
nium-Strangpressprofil)

Die im Bild genannte Durchbiegung von 1/500 mm bedeutet, dass sich die Durchbiegung im Verhältnis zur Länge L (Abstand der Aufhängepunkte) wie 1:500 verhält. Das heißt:

$$f_{\max} = L \cdot \frac{1}{500} \quad (3.3)$$

In das Diagramm wurde die Eigenmasse der Schiene bereits eingearbeitet. Welche Masse F_4 ergibt sich für eine Querschiene? Die Masse je Meter Fahrschiene beträgt $M = 5,1$ kg/m und die Eigenmasse für ein Fahrwerk $F_5 = 1,7$ kg. Damit ergibt sich:

$$F_4 = L_1 \cdot M + F_5 \cdot 2 = 4,14 \cdot 5,1 + 1,7 \cdot 2 = 24.5 \text{ kg} \quad (3.4)$$

Im nächsten Schritt ist der Aufhängeabstand der Längswegschienen zu bestimmen. Die Belastung F_6 einer Längsschiene ergibt sich bei einer Zweiträgerbrücke (Berechnung als Punktlast, ungünstigste Stellung des Laufwagens) zu:

$$F_6 = 2 \cdot F + F_4 = 2 \cdot 165 + 25 = 355 \text{ kg} \quad (3.5)$$

Die Berechnung der Länge L_2 der Längswegschienen berücksichtigt

- Überstand der Längswegschiene $U_2 = 595$ mm
- Zusatzlänge der Kabelwagen auf der Längsschiene $K_2 = 425$ mm
- Längsfahrweg $S_x = 8000$ mm

Die Angaben sind Erfahrungswerte bzw. Werte aus den Datenblättern der Schleppkabelhersteller. Damit wird nun

$$L_2 = S_x + 2 \cdot U_2 + K_2 = 8000 + 2 \cdot 595 + 425 = 9615 \text{ mm} \quad (3.6)$$

Bei einer Traglast von 355 kg erhält man einen Abstand der Aufhängepunkte von etwa 3800 mm. Man bestimmt nun die Profilgröße wiederum an Hand vorgegebener Diagramme und erhält als Profil die Baugröße SHP 16.

Die nächste Fragestellung wäre, wie viele Aufhänge- bzw. **Schienenstützpunkte** n sind für die Längswegschienen zu planen? Bei einem zulässigen Abstand von $E_1 = 3800$ mm ergibt sich n zu

$$n = \frac{S_x + 2 \cdot U_2}{E_1} + 1 = \frac{8000 + 2 \cdot 595}{3800} + 1 = 3,4 \quad (3.7)$$

Gewählt werden vier Stützpunkte.

Zuletzt wäre zu prüfen, ob die Deckenanbindung die maximale Traglast auch aushält. Im Beispiel soll eine V-Aufhängung der Schiene mit drei Zugstäben ausgewählt werden (Bild 3.6). Für die Bemessung der Stabanbindung ist zu klären, wie groß die Stabkräfte F_1 , F_2 und F_3 sind.

Gegeben sind die Stabquerschnitte $A_1 = A_3$ und A_2 ; der Elastizitätsmodul E und der Abstand a sowie der Anlenkwinkel 45° . Geht man davon aus, dass die Belastung durch ein Deckenfahrwerk mit F_G gegeben ist, so lassen sich (nach GÖLDNER) folgende Beziehungen angeben, wenn sich die Summe aller vertikalen Kräfte im Gleichgewicht befindet. Es gilt:

$$\uparrow F_1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + F_2 + F_3 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - F_G = 0 \quad (3.8)$$

Für die Bestimmung der unbekanntenen **Stabkräfte** F_S reicht diese Gleichgewichtsbedingung nicht aus. Es ist ein statisch unbestimmtes Problem.

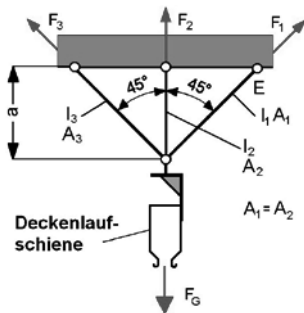


Bild 3.6

Anbindung einer Laufschiene an das Bauwerk mit einer V-Aufhängung über drei Zugstäbe

Man muss noch die bekannten Formänderungen der Zugstäbe einbeziehen, um aus den elastischen Formänderungen auf die ursächlichen Kräfte schließen zu können. Es kommt in den Stäben zu folgenden Formänderungen (Dehnungen ε , Zugfestigkeit des Werkstoffes σ):

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E} = \frac{F_s}{E \cdot A} \quad (3.9)$$

Weil alle Stäbe am Lastaufhängepunkt verbunden sind, ergibt sich für die Längenänderung unter Last

$$\Delta l_2 = \Delta l_3 \cdot \sqrt{2} = \Delta l_1 \cdot \sqrt{2} \tag{3.10}$$

Jetzt werden die folgenden **Stabdehnungen** $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ und ε_3 nach Δl umgestellt und in (3.10) eingesetzt:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{F_1}{E \cdot A_1} = \frac{\Delta l_1}{a \cdot \sqrt{2}}; \varepsilon_2 = \frac{F_2}{E \cdot A_2} = \frac{\Delta l_2}{a}; \\ \varepsilon_3 &= \frac{F_3}{E \cdot A_3} = \frac{\Delta l_3}{a \cdot \sqrt{2}} \end{aligned} \tag{3.11}$$

Gleichgesetzt und in die Gleichung (3.8) für die Senkrechtkräfte eingesetzt erhält man nun

$$F_1 = F_3 = \frac{F_G}{\sqrt{2} + 2 \cdot \frac{A_2}{A_{1,3}}}; \quad F_2 = \frac{2 \cdot A_2 \cdot F_G}{\left(\sqrt{2} + 2 \cdot \frac{A_2}{A_{1,3}}\right) \cdot A_{1,3}} \tag{3.12}$$

Die Einhaltung der Durchbiegungsgrenzen bei den Laufschienen sichert eine nur kleine Verschiebekraft F in x - y -Richtung. Sie beträgt etwa 1 % der anhängenden Last. Mittiger Kraftangriff ist beim Schieben besser als eine seitliche **Schiebekraft**, wie in Bild 3.7 dargestellt.

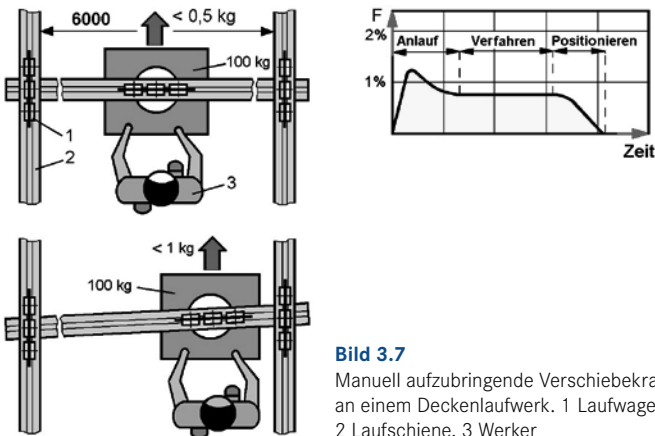


Bild 3.7
Manuell aufzubringende Verschiebekraft F an einem Deckenlaufwerk. 1 Laufwagen, 2 Laufschiene, 3 Werker

Das Verschieben in der x - y -Ebene wird mit Handkraft vorgenommen, während die Hebelbelastung automatisch gegen die Schwerkraft ausbalanciert wird. Das Bild 3.8 zeigt das Blockschaltbild einer **Laststeuerung**.

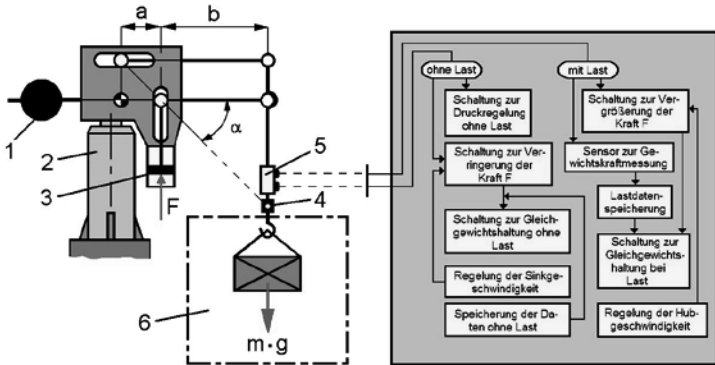


Bild 3.8 Lastbalancesteuerung bei einem manuell geführten Manipulator.

1 Masseausgleich, 2 Standssäule, 3 Druckluftzylinder, 4 Lastführung, 5 Kraftsensor, 6 Arbeitsraumquerschnitt

Dazu ist im Kraftfluss ein Sensor (Wägezelle) erforderlich, um die Gewichtskraft zu ermitteln. Im Beispiel wird die Schwerkraft kompensierende Kraft von einem Pneumatikzylinder aufgebracht.

Für das automatische Ausbalancieren der Last (Lasterkennungssteuerung) ist eine **Wägezelle** im Kraftfluss erforderlich. Nach dem Wiegeergebnis wird der Gewichtskraftausgleich berechnet. Ein Ausführungsbeispiel für den Sensor wird in Bild 3.9 vorgestellt. Üblicherweise werden Dehnungen und Stauchungen gemessen, die an einem **Verformungskörper** entstehen. Die entsprechenden Stellen werden dazu mit Dehnmessstreifen ausgerüstet. Unter Last wird der obere Dehnmessstreifen gedehnt, der untere dagegen gestaucht. Es gibt noch viele andere geometrische Formen für die Gestaltung von Verformungskörpern.

Sachwortverzeichnis

A

ABC-Analyse 536
Abrissroboter 349
Absolutwertgeber 99
Abstandssensor 392
Achspeditionen 191
Agent 248
AGV 368, 370
Allseitenrad 384
Android 411
Anströmparadoxon 515
Anströmverhalten 482
Antistatigurt 571
Antrieb, holonomer 387
Arbeitsraum 49
Assistenzroboter 335
Asynchronmaschine 85
Auflicht-Beleuchtungssystem 522
Auslegerachse 473
Automation 13
Automatisierungsgrad 37

B

Bahnsteuerung 176, 182
Bahnverschleifen 215
Balancer 309
Balgzylinder 64
Barrett-Hand 153
Baukastenbauweise 538
Bauteilezuführung 492
Bayer-Filter 521
Bearbeitungsroboter 290
Beleuchtungsarten 522
Bernoulli, Satz von 515
Beschickungsarm 465

Beschickungseinrichtung 506
Beschleunigungssensor 114
Beugefinger 124
Bewegungsarten 181
Bildererkennung 485
Bildverarbeitung 521
Bonden 595
Brückenbildung 519
Brückenschaltung 105, 112
Bunkerzuführeinrichtung 445
Bypass 569

C

CAD-System 282
Camcopter 381
Care-O-bot 363
CMOS-Sensor 394
Cobot 335
Cyclo-Getriebe 94

D

Datenanzug 334
Deckenanbindung 315
Deckenfahrwerk 338
Dehnmessstreifen 112
Demontage 597
Demontagestrategie 602
Demontagezelle 603
Demontieren 530
Denavit-Hartenberg-Notation 204
DH-Konvention 205
DH-Notation 204
Differenzialgetriebe 96
Differenzialtransformator 101

Digitale Fabrik 270
 Direktantrieb, elektrischer 476, 575
 DMS-Wägezelle 318
 Doppelarm 466
 Doppeldrehtisch 297
 Doppelgreifer 62, 188
 Doppelgurt-Transfersystem 548
 Doppelkolbensystem 470
 Doppelspannplatz 299
 Doppelstation 550
 Doppelwinkelhand 60
 Doppler-Effekt 393
 Dosieren 517
 Drehantrieb 468
 Drehgelenkroboter 176
 Drehmomentausgleich 52
 Drehmomentmotor 556
 Drehtisch 297
 Dreh-Wende-Positionierer 297
 Dreiphasenbrücke 81
 Drohne 381
 Druckluftmotor 65, 320
 Dünnringlager 469
 Durchlaufmagazin 508
 Durchlichtsystem 527
 Durchlichtverfahren 486

E

Effekt, aerodynamischer 515
 Effektorführungsgetriebe 223
 Effektor-Orientierung 197
 Einschienen-Transfersystem 573
 Einstrahl-Interferometer 109
 Ejektor 143
 Elementarfunktionen 442
 Encoder 391
 Endeffektor 30, 61, 119, 177, 185, 189, 209
 Entgratewerkzeug 161
 Entwirrgerät 447
 Euler-Notation 198
 Exoskelett 333

F

Fabrikautomation 38
 Fahrbalken 466
 Fahrtrichtungssensor 391
 Fahrwerkkonstruktionen 380
 Faltenbalsauger 145
 Fangzaun 296
 Fassadenreinigungsroboter 360
 Feder-Masse-System 487
 Fehlerbehandlung 262
 Fehlermeldungen 263
 Fehlerrate 37
 Ferngreifer 327
 Fernhandhabung 328
 Field Robots 346
 Fingerkinematik, selbstadaptive 155
 Fingermaster 331
 Fingerselbstverstellung 133
 Fischflosseneffekt 155
 Flächenportal 467
 Fluidantrieb 470
 Formgedächtnislegierung 587
 Formgriff 61
 Formschlussbauweise 540
 Fortbewegungsarten 385
 Fortbewegungssysteme 383
 Framedarstellung 196
 Freiheitsgrad 29
 Führungsgetriebe 54
 Füllungskoeffizient 483
 Funktionsablaufplan 551
 Fußgelenk 417

G

Gefahrenquellen 374
 Gefriergreifer 589
 Gehroboter 417
 Gelenkarten 30
 Gelenkbremung 322
 Genauigkeit 57
 Genauigkeitsmaß 57
 Geschwindigkeitsverschleifen 215

Gesichtsroboter 418
 Gestaltung
 - demontagegerechte 597
 - greifgerechte 137
 Gestaltungseffektivität 535
 Gierachse 198
 Gleichstrommotor 70, 74
 Globoidschneckengetriebe 555
 Graycode 99
 Greifbarkeit 63, 120
 Greifer 119, 325
 - elektrostatischer 128
 Greiferauswahl 141 f.
 Greiferbahnhof 158
 Greiferkoordinatensystem 121
 Greifertypen 134
 Greiferwechselsystem 157
 Greiffläche 121
 Greifhand 121
 Greifkraft 138
 Greifkraftkennlinie 130
 Greifkraftverlauf 130
 Greifprinzip 125
 Greifsituationen 139
 Greifsystem 122
 Greifwegkennlinie 130
 Griff
 - formschlüssiger 125
 - kraftschlüssiger 125
 Grifffläche 122
 Griff in die Kiste 496
 Grundachsen 33
 Gynoid 411
 Gyroskop 115, 391

H

Haft-Gleit-Effekt 432
 Haftgreifer 61
 Hakengreifer 137
 Hallsensor 80
 Handdrehachse 325
 Handhabeadapter 63
 Handhabungsobjekte 446

Handhabungsroboter 371
 Handhabungstechnik 41
 Handkonfiguration 51
 Harmonic-Drive-Getriebe 95
 Haufwerk 16, 480
 Hauptachsen 31
 Haushaltsassistent 363
 Haushaltsrobotik 354
 HD-Getriebe 95
 Heuteile 447
 Hubachse 459
 Hubsauger 144
 Hubschlauch 319
 Hüllkörpermodell 15
 Humanoid 23, 385, 406
 Hydraulikaktor 69

I

Immersion 329
 Inchworm-Motor 434
 Inchworm-Roboter 433
 Industrie 4.0 17
 Industrieroboter 14, 18, 27, 29
 - werkstückführender 291
 Industrieroboterperipherie 294
 Informationsroboter 373
 Inkrementalgeber 98
 Innengreifer 136
 Inspektion, teleoperierte 348
 Integrationsgrad 39
 Intelligenz, künstliche 246
 Interaktion 23
 Interpolationsarten 211
 Intralogistik 563

J

Justieren 530

K

Kalman-Filter 402
 Karree-Umlauf 548
 Karussellmagazin 511
 Kaskadenregelung 226
 Kegelradgetriebe 93
 Kenngrößen 42
 Kinematik, inverse 209
 Kleinstteilegreifer 589
 Klemmgreifer 129
 Klemmgriff 61
 Kletterroboter 360
 Knickarmroboter 52
 Kollisionstest 275
 Kompass 104
 Konstruieren, montagegerechtes
 537
 Konturbild 527
 Koordinatenachsen 183
 Kraftmessung 110
 Kraft-Positionsregelung 228
 Kraftregelung 594
 Kraftsensor 593
 Kraftübertragungsmittel 318
 Kreiselsensor 117
 Kreisinterpolation 211
 Kunstmensch 406
 Kurvenschrittgetriebe 555

L

Ladehilfsmittel 300
 Laserlaufzeit-Entfernungsmessung
 106
 Lasermodulation 107
 Laserstrahlführung 373
 Lastaufnahme 325
 Lastaufnahmemittel 325
 Lastbalancesteuerung 317
 Lasthaftgerät 325
 Lastkenngrößen 45
 Laufroboter 413
 Laufwagen 474

Laufzeitmessung 372
 Leistungssensor 217
 Leitliniensystem 369
 Lernalgorithmus 241
 Linearachse 456
 Linearinterpolation 211
 Linearmotor 88
 Linearschwingrinne 489
 Linienmontagesystem 548
 Linienportalroboter 465
 Lokalisation 400
 Lokomotion 383
 Lorentzkraft 71

M

Magazinbauform 507
 Magazine 506
 Magazinieren 505
 Magnetfeldsensor 104
 Main-Routine 264
 Malteserkreuzgetriebe 555
 Massedosierung 517
 Master-Slave-Manipulator 327
 Mecanum-Rad 387
 Mechatronik 24
 Medizinroboter 350
 Mehrgelenkfinger 135
 Mehrrichtungskette 574
 Mehrstufenejektor 143
 Melkroboter 347
 Mikrogreifer 586
 Mikrohandhabungsstation 590
 Mikromanipulation 595
 Mikroroboter 422, 592
 Mikroroboterantrieb 434
 Mikrorobotik 128
 Mittelpunktverlagerung 133
 Mobilrobotik 373
 Modell, kinematisches 281
 Montage, kontinuierliche 578
 Montagelinie 547
 Montagetransfersystem 571
 Montagezelle 559

Montieren 42, 530
 MP-Steuerung 181
 Muskel, pneumatischer 65

N

Nachlaufregelung 342
 Nahtverfolgung 217
 Navigation 402
 Nebenachsen 31
 Nennlast 45
 Nestbauweise 539
 Nickachse 198
 Not-Aus-Schalter 167
 Null-Moment-Punkt 412
 Nutzlastverteilung 56
 Nutzwertanalyse 277

O

Oberflächeninspektion 525
 Odometrie 399
 Offline-Programmierung 49
 Ordnen 478
 Ordnungshilfen 492
 Ordnungswahrscheinlichkeit 489
 Ordnungszustand 449
 Orientierungsgrad 449
 Orientierungsinterpolation 214
 Ortungssensor 392
 OTS 335
 Ovalsauger 145
 Override 220

P

Palettenhandhabung 297
 Palettierroboter 302
 Parallelkinematik 18
 Parallelmanipulator 327
 Parallelroboter 53
 Passivachse 475
 Pendelarmroboter 55

Pendelform 216
 Peripherie 298
 Pfadplanung 402
 Planarroboter 231
 Planetengetriebe 90
 Platooning 405
 Plattform, kletternde 359
 Plausibilitätsprüfung 376
 Playback-Programmierung 48
 Pneumatikantrieb 64
 Polizeiroboter 328
 Polymeraktor 434
 Poolreinigungsroboter 348
 Portalfahrwerk 312
 Portalroboter 50
 Portalwagen 466
 Positionierachse 473
 Positionierantrieb 477
 Positionierer 299
 Positionierungsgrad 449
 Position-Kraft-Regelungssystem 594
 Positionsquant 99
 Positionssensoren 98
 Präzisionsroboter 330
 Programmierhandgerät 252
 Programmiermethoden 250
 Programmiersprachen 251
 Programmierverfahren 48
 Puffer 546
 Punktschweißen 14
 Punkt-zu-Punkt-Steuerung 182

Q

Quaternion 199
 Quasifließgut 451

R

Radantriebe 386
 Radfahrwerk 384
 Radsensor 391
 Rasenmäroboter 352
 RCS-Modul 281

Referenzpunkt 187
 Referenzpunktfahren 220
 Regelgröße 225
 Regelkreis 224
 Regelung 223
 – nichtlineare 233
 Regelungssystem, adaptives 237
 Regler, digitaler 227
 Reibungsverhalten 454
 Reinigungsroboter 347
 Remote-Umgebung 327
 Resolver 103
 Ringschalttischmaschine 556
 Ringsensor 341
 Ringtisch-Montagemaschine 554
 Risikoparameter 171
 Roboter
 – humanoider 406
 – kooperierende 292
 Roboterarchitektur 177
 Robotergenerationen 47
 Roboterkopf 419
 Roboterperipherie 17
 Roboterprogrammiersprachen 255
 Roboterstaubsauger 352
 Robotersteuerung 179, 255
 Robotersystem 40
 Roboterwerkzeug 158
 Roboterzelle 278
 Robotik 39
 – humanoide 412
 Rollbahnmagazin 508
 Rollenführung 474
 Rollfähigkeit 451
 Rotorautomat 578
 ROV 351
 RPY-Notation 198
 Rückföhrbahn 548
 Rückwärtstransformation 184
 Ruheverhalten 481
 Rundtaktmagazin 509
 Rüsselhandgelenk 60

S

Saugerberechnung 148
 Scara-Roboter 49
 Schachtmagazin 510
 Scheibenbremse 322
 Scheibenspeicher 509
 Scherengreifer 133
 Schikane 487
 Schlupfregelung 229
 Schnappverbindungen 543, 597
 Schnekeinzug 576
 Schöpfsegmentbunker 483
 Schreitapparat 413
 Schreitroboter 412
 Schüttgutzuföhrung 519
 Schutzgasschweißen 295
 Schweißanlage 299
 Schweißausrüstung 296
 Schweißfugenabtastung 219
 Schweißlinie, robotisierte 14
 Schweißroboterzelle 271
 Schwenkeinheit 471
 Schwenkflögelmotor 469
 Schwerlastgerät 503
 Scouting 406
 Seilroboter 55
 Sensorföhrung 217
 Sensormagazin 564
 Sensortechnik 97
 SEQ-Notation 198
 Servicerobotik 343
 Servo-Parallelmanipulator 327
 Sicherheitsfaktor 148
 Sicherheitsvorschriften 168
 Silhouettenerkennung 527
 Simulation 15, 269
 Simulationswerkzeuge 274f.
 Singularität 192
 Slavearm-Manipulator 332
 SMA-Aktor 587
 Sollbruchstelle 601
 Speichern 505
 Spielzeugroboter 353
 Spindelhubsystem 321
 Spline-Interpolation 217

Spurführungssystem 368
 Spurrad 433
 Stabilitätskriterium 414
 Standsäulenmanipulator 311
 Standsicherheit 323
 Stapelbauweise 539
 Steiner, Satz von 471
 Stereobildverarbeitung 525
 Steuerung
 - autonome 395
 - verhaltensbasierte 403
 - zentrale 397
 Stick-slip 432
 Störungsspeicher 546
 Struktur, kinematische 30
 Stückdosierung 517
 Subsumtionsmodell 247

T

Tauchkernsensor 100
 TCP 34, 123, 187
 Teach-in Programmierung 48
 Telechirurgie 329
 Teleoperator 326
 Teleoperatorsystem 327
 Telepräsenz 329
 Trägheitssensorik 114
 Traglastdiagramm 43
 Traglastkennlinie 46
 Tragzahl 455
 Transportsystem, fahrerloses 367
 Tray 559
 Triangulation 108

U

Überschleifkriterium 215
 Überschwingen 58
 Ultraschallsensor 392
 Umlaufmagazin 507
 Universalroboter 52
 Unterhaltungsroboter 354
 Unterwasserroboter 382

V

Vakuumsauger 142
 van-der-Waals-Kraft 430
 Variantenbewertung 277
 V-Aufhängung 315
 Verbundbauweise 539
 Vereinzeln 496
 Vereinzelnung 504
 Verkettungsart 568
 Vibrationswendelförderer 487
 Vierquadrantenbetrieb 63
 Vision-Algorithmus 522
 Vision-Sensor 394
 Volumendosierung 517
 Vorwärtstransformation 185

W

Wägezelle 317
 Wälzführung 455
 Wellgetriebe 95
 Weltkoordinatensystem 184
 Weltraumrobotik 346
 Wendelaufsatz 491
 Werkstückaufnahme 294
 Werkstückführung 291
 Werkstückhandhabung 302
 Werkstückmagazine 506
 Werkstückträger 565
 Werkstück-Trägermagazin 509
 Werkzeugarbeitspunkt 34
 Werkzeuggreifer 265
 Werkzeugkorrektur 187
 Werkzeugorientierung 201
 Wiederholgenauigkeit 44, 57
 Winggreifer 154
 Winkelhand 59
 Wirkpunkt 187
 Wirkzone 34, 330
 Wirtteile 447
 Wurfkennziffer 488

Z

- Zahnriemengetriebe 93
- Zellenradzuteiler 518
- Zentralhandgelenk 59
- Zentripetalgreifer 302
- Zuführbarkeitskriterium 544
- Zustimmungsschalter 252
- Zuteilen 498
- Zwei-Kanal-Schaltkreis 162
- Zylinder
 - doppeltwirkender 65
 - einfachwirkender 64